不同饲粮模式下奶牛乳腺对长链脂肪酸摄取的影响

刘帅旺　敖长金*　白　晨　张福全　康　蓉

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：本试验旨在研究不同饲粮模式下奶牛乳腺对长链脂肪酸摄取的影响。选用健康且胎次、体重[(554±21) kg]、泌乳期[（120±4） d]和产奶量[(24.30±1.47) kg/d]相近的荷斯坦奶牛 30 头，采用随机区组设计，分为 3 组，每组 10 头。3 组奶牛饲喂不同模式的饲粮，即以苜蓿、羊草和全株玉米青贮为粗饲料的饲粮（MF 组）、营养水平约同 MF 组但以单一玉米秸秆为粗饲料的饲粮（CS1 组）和粗饲料比例等同 MF 组但以单一玉米秸秆为粗饲料的饲粮（CS2 组）。试验期 90 d，分 3 期进行，每期 30 d，在每期的最后 2 d 采集饲粮样、乳样和血样进行检测分析。结果表明：1）不同饲粮模式对奶牛的体重和干物质采食量均无显著影响（$P>0.05$），但对奶牛的产奶量、乳脂率和日乳脂产量均有显著（$P<0.05$）。MF 组的产奶量和日乳脂产量均显著高于 CS1 组和 CS2 组（$P<0.05$），而 CS1 组则显著高于 CS2 组（$P<0.05$）；MF 组的乳脂率显著高于 CS1 组（$P<0.05$）。2）不同饲粮模式对奶牛动、静脉血浆中 C16:0、C18:0、C18:2*cis*-6、C18:1*cis*-9 和总长链脂肪酸的浓度均无显著影响（$P>0.05$）。3）不同饲粮模式对奶牛的血流量造成了显著的影响（$P<0.05$），呈现出 CS1 组＞MF 组＞CS2 组。不同饲粮模式影响了奶牛动脉对总长链脂肪酸的供给量，表现为 MF 组和 CS1 组显著大于 CS2（5 629.51、6 605.02 g/d vs. 3 878.91 g/d）（$P<0.05$）。4）不同饲粮模式影响了奶牛乳腺对总长链脂肪酸的摄取率，表现为 MF 组和 CS2 组显著高于 CS1 组（10.99%、10.84% vs. 7.39%）（$P<0.05$）。5）不同饲粮模式影响了奶牛乳腺对总长链脂肪酸的摄取量，表现为 MF 组（618.69 g/d）＞CS1 组（487.87 g/d）＞CS2 组（420.56 g/d），组间差异显著（$P<0.05$）。本研究揭示了在低质粗饲料条件下，增加精料浓度并不能有效提高奶牛对长链脂肪酸的摄取。

收稿日期：2016-10-17
基金项目：国家“973”计划——牛奶重要营养品质形成与调控机理研究（2011CB100803）
作者简介：刘帅旺(1985-)，男，山西吕梁人，博士研究生，从事动物营养与畜产品品质研究。E-mail: 378933983@qq.com
*通信作者：敖长金，教授，博士生导师，E-mail: changjinao@sohu.com

关键词：饲粮；奶牛；长链脂肪酸；摄取

中图分类号：S816　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　　　文章编号：

我国奶业成绩斐然，但奶牛养殖一直以数量扩张型发展，优质粗饲料供给不足，绝大多数地区仍以农作物秸秆作为奶牛的主要粗饲料来源，存在因饲料资源形成的不同饲粮模式，具体表现为饲粮结构和营养水平不合理，使得乳脂的含量普遍偏低。Elgersma 等[1]研究表明，乳脂肪主要由长链脂肪酸（＞C16）和中链（C10～C14）、短链（C4～C8）脂肪酸合成，而和中链、短链脂肪酸相比，大部分的长链脂肪酸是由饲粮中直接摄取的，并表现在乳中。乳中脂肪酸组成变化的研究主要集中在瘤胃发酵和小肠吸收方面，且已经有大量用来支持的理论，但在乳腺摄取方面的研究甚少[2]。现阶段我国奶牛饲粮模式主要包括：奶牛场养殖模式，即使用优质混合粗饲料配以较少精料饲喂奶牛；养殖小区模式，即使用玉米秸秆配以较高精料饲喂奶牛；农户散养模式，即使用玉米秸秆配以少量精料饲喂奶牛。本试验旨在研究不同饲粮模式下奶牛乳腺对长链脂肪酸摄取的影响，为乳脂的有效合成提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物与饲养管理

选用 2～3 胎、健康的体重[（554±21） kg]、泌乳期[（120±24） d]和产奶量[（24.30±1.47） kg/d]相近的荷斯坦奶牛 30 头，试验奶牛自由采食，保证日剩料量为投料量的 5%左右，每天 06:00 和 18:00 分 2 次饲喂全混合日粮（TMR），自由饮水。每天采食前（06:00 和 18:00）挤奶 1 次。在整个试验期每日记录采食量和产奶量。

1.2　试验设计与试验饲粮

试验采用随机区组设计，分为 3 组，每组 10 头奶牛，分别为饲粮精粗比为 45:55 且粗饲料为苜蓿+全株玉米青贮+羊草的混合优质粗饲料的 MF 组、饲粮精粗比为 65:35 且营养水平约同 MF 组的粗饲料为单一玉米秸秆的 CS1 组、饲粮精粗比为 45:55 且用玉米秸秆全部替代 MF 组粗饲料的 CS2 组。3 组精饲料为同一精饲料配方，饲粮组成及营养水平见表 1。试验期 90 d，分 3 期进行，每期 30 d，于每期最后 2 d 连续采集饲粮样、乳样以及血浆样进行检测分析，以 MF 组为对照组，揭示长时间饲喂 CS1 组和

CS2 组饲粮对奶牛乳腺摄取长链脂肪酸的影响。

表 1　饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of diets (DM basis)　　%

项目 Items	组别 Groups		
	CS1	CS2	MF
原料 Ingredients			
羊草 *Leymus chinensis*			3.70
全株玉米青贮 Whole corn silage			26.70
进口苜蓿 Imported alfalfa			23.40
玉米秸秆 Corn straw	35.00	53.80	
玉米 Corn	34.61	24.60	24.60
豆粕 Soybean meal	20.82	14.80	14.80
全棉籽 Whole cottonseed	7.18	5.10	5.10
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.84	0.60	0.60
食盐 NaCl	0.70	0.50	0.50
预混料 Premix[1)]	0.84	0.60	0.60
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]			
粗蛋白质 Crude protein	18.38	13.61	18.14
粗脂肪 Crude fat	4.10	2.84	3.97
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	33.10	44.30	32.30
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	20.20	29.10	21.30
淀粉 Starch	25.39	15.32	21.50

泌乳净能 Net energy for lactation/(MJ/kg)[2]	1.58	1.04	1.57

[1]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 700 000 IU，VD_3 120 000 IU，VE 2 100 mg，Fe (as ferrous sulfate) 1 750 mg，Cu (as copper sulfate) 1 600 mg，Zn (as zinc sulfate) l0 000 mg，Mn (as manganese sulfate) 3 500 mg，Se (as sodium selenite) 42 mg，I (as potassium iodide) 84 mg。

[2]泌乳净能和淀粉含量采用近红外仪（FOSS NIRS DS 250）测定，其中淀粉含量为直接测定值，泌乳净能为测定饲粮中单一原料后，按配方比例进行合计的估算值。其他营养指标为实验室化学测定值。Net energy for lactation （NE_L） and starch were calculated by near-infrared spectroscopy (FOSS NIRS DS 250), but starch content was measured directly, NE_L was estimated by each of material according to the formula percentage. Other nutrient indices were measured by chemical methods in the laboratory.

1.3 样品采集与处理方法

1.3.1 饲粮样采集与测定

每期连续采集最后 2 d 天早、晚的饲粮，65 ℃烘干测定初水分，计算干物质采食量（DMI）；2 d 采样完成后，将采集的样品混合均匀，四分法缩样，取约 500 g 粉碎，过 40 目筛，用于测定饲粮常规营养成分，测定指标有粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、淀粉（Starch）含量，并计算泌乳净能（NE_L）。其中，粗蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量的测定参照 AOAC（1999）[3]方法，测定仪器分别为全自动 FOSS 凯氏定氮分析仪、SZC-101 索氏抽提脂肪测定仪、ANKOM 纤维分析仪、ANKOM 纤维分析仪；淀粉和能量使用 FOSS NIRS DS 2500 多功能近红外分析仪测定，测定单位为华夏畜牧（三河）有限公司，其中淀粉为直接测定值，泌乳净能为测定饲粮中单一原料后，按配方比例进行合计的估算值。

1.3.2 乳样的采集与测定

每期连续采集最后 2 d 早、晚的乳样，按照产奶量比例进行混合存储至-20 ℃冰箱保存，混合比例为采样前 3 d 早、晚产奶量比例的均值。乳脂率由乳成分测定仪测定，仪器型号为

MilkoScanTMMinor-Type78110 (FOSS AnalyticalA/S 69，DK-3400，丹麦)。

1.3.3 血样的采集与测定

对每期最后 2 d 的血样进行采集与处理，于第 1 天的上午采食前 0 h 和下午采食前 0 h，使用医用血浆真空采血管（含肝素钠）采集奶牛尾动、静脉血液各 20 mL；于第 2 天的上午采食开始后 6 h 和下午采食开始后 6 h，采用上述方法采集奶牛尾动、静脉血液各 20 mL。样品于短时间内放入离心机内并调至 4 000×*g*，4 ℃离心 15 min 后分离出血浆，并分装于 1.5 mL 的离心管内，存储至-20 ℃冰箱保存。试验结束后，连续 2 d 的 4 个时间点的血浆样品等量混合于 10 mL 离心管内，-20 ℃冰箱保存待测。

1.3.4 饲粮样、乳样和血浆样脂肪酸组成测定

利用正己烷与异丙醇的混合液提取样品的脂肪，然后对溶有脂肪的正己烷液体进行酸碱甲酯化，具体的样品处理和外标分析方法参考 Khas-Erdene 等[4]，脂肪酸甲酯（FAME）的检测利用气相色谱仪（GC-2014，日本岛津科技有限公司）定量检测，仪器装置了火焰离子化检测器。样品稀释后（50:1）使用 2 μL 微量注射器打入进样口，所用毛细管柱为 HP-88（100 m×0.25 mm 管柱，0.20 μm 厚，安捷伦科技有限公司)。柱箱温度最初设定为 120 ℃，持续 10 min，然后以 3.2 ℃/min 的速度增加到 230 ℃，持续 35 min，注射器和检测器分别保持 250 和 300 ℃。脂肪酸组成测定时间合计为 79.38 min。样品检测为定性的外标法。所用标样为 37 种脂肪酸标准样（Nu-ChekPrep,Elysian,MN,美国；Matreya,Pleasant Gap,PA,美国；Supelco37 Component FAME mix,Supelco Inc.，美国）。

用峰面积计算脂肪酸的浓度[5]:

总的脂肪酸甲酯浓度（mg/mL)=（总峰面积－内标峰面积内标峰面积）×已知内标的质量浓度/内标峰面积；

Fi=外标 *i* 的质量浓度×已知内标峰面积×已知内标的质量浓度/外标 *i* 的峰面积；

单一脂肪酸甲酯浓度（mg/mL）=*Ai*×*Fi*×已知内标的质量浓度/已知内标峰面积。

式中：外标 *i* 为外标第 *i* 种脂肪酸；*Ai* 为第 *i* 种脂肪酸的峰面积；*Fi* 为第 *i* 种脂肪酸的相对校正因子。

1.3.5 脂肪酸摄取公式[6]

血流量(MBF，L/h)=乳中浓度(C18:0＋C18:1*cis*-9) / [动脉血浆中浓度(C18:0＋C18:1*cis*-9)－静脉血浆中浓度(C18:0＋C18:1*cis*-9)]×乳产量 / 24 h；

动脉供给量(g/d)=动脉血浆中浓度×血流量×24 h；

乳腺摄取率(%)=[(动脉血浆中浓度－静脉血浆中浓度) / 动脉血浆中浓度]×100；

乳腺摄取量(g/d)=(动脉血浆中浓度－静脉血浆中浓度)×血流量×24 h。

1.4 数据处理

本试验采用重复测量的数据分析，统计学检验利用 SAS 9.0 软件 PROC MIXED 模块，影响效果主要为处理之间，奶牛被认为是随机的，整个试验的 DMI 为协变量，数据表示为协变量调整最小二乘法，SEM 为合并标准误差，显著水平为 P＜0.05。

2 结果与分析

2.1 不同饲粮模式对奶牛 DMI、产奶量和乳脂的影响

泌乳中期奶牛连续饲喂 90 d 的 3 种饲粮后，处理 3 期数据后结果（表 2）表明：不同饲粮模式对奶牛的体重和 DMI 均无显著影响（P＞0.05），但对奶牛产奶量、乳脂率和日乳脂产量均有显著（P＜0.05）。MF 组的产奶量和日乳脂产量均显著高于 CS1 组和 CS2 组（P＜0.05），而 CS1 组则显著高于 CS2 组（P＜0.05）；MF 组的乳脂率显著高于 CS1 组（P＜0.05），CS2 组的乳脂率处于 MF 组和 CS1 组之间，与这 2 组的差异均不显著（P＞0.05）。由此可见，以玉米秸秆为单一粗饲料的饲粮，饲喂奶牛后降低了其乳脂产量和产奶量。增加玉米秸秆型饲粮中精料浓度可以提高奶牛乳脂产量和产奶量，但和相同概略养分的优质粗饲料饲粮相比还有一定差距。

表 2 不同饲粮模式对奶牛 DMI、产奶量和乳脂的影响

Table 2 Effects of different dietary patterns on DMI, milk yield and milk fat for dairy cows

	处理 Treatments				*P* 值
项目 Items	CS1	CS2	MF	SEM	*P*-value

产奶量 Milk yield/kg	22.62^{b}	17.41^{c}	26.43^{a}	1.27	0.04
干物质采食量 DMI/kg	16.71	16.19	16.75	0.41	0.58
乳脂率 Milk fat percent/%	3.71^{b}	4.03^{ab}	4.26^{a}	0.15	0.04
日乳脂产量 Daily milk fat yield/(kg/d)	0.83^{b}	0.70^{c}	1.11^{a}	0.054	<0.01
体重 Body weight/kg	534	554	568	21	0.98

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P＞0.05），不同小写字母表示差异显著（P＜0.05）。表 4、表 5 和表 6 同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as Table 4, Table 5 and Table 6.

2.2 不同饲粮模式对奶牛尾动、静脉血浆中长链脂肪酸浓度的影响

不同饲粮中主要脂肪酸的浓度见表 3。由表 4 可以看出，不同饲粮模式对奶牛动、静脉血浆中 C16:0、C18:0、C18:2*cis*-6、C18:1*cis*-9 和总长链脂肪酸的浓度均无显著影响（P＞0.05）；CS1 组和 CS2 组奶牛动、静脉血浆中 C18:3n3 的浓度显著高于 MF 组（P＜0.05），CS1 和 CS2 组之间差异不显著（P＞0.05）。表 4 中奶牛动、静脉血浆中各长链脂肪酸浓度的高低响应了表 3 饲粮中的对应脂肪酸浓度的高低。

表 3 不同饲粮中主要脂肪酸的浓度（占总脂肪酸的百分比）

Table 3 Main fatty acid concentrations of different diets （percentage of total fatty acids） %

	处理 Treatments		
脂肪酸 Fatty acids	CS1	CS2	MF
C16:0	21.22	19.98	24.35
C18:0	3.38	3.38	3.01
C18:1*cis*-9	23.10	24.58	21.73
C18:2*cis*-6	44.80	42.69	44.16
C18:3n3	4.75	3.92	2.55

其他 Others	4.58	3.62	4.20

表 4 奶牛尾动、静脉血浆中长链脂肪酸的浓度

Table 4 Long chain fatty acid concentrations in tail artery and vein plasma for dairy cows mg/L

	处理 Treatments				*P* 值
脂肪酸 Fatty acids	CS1	CS2	MF	SEM	*P*-value
动脉血浆 Artery plasma					
C16:0	76.92	69.52	79.55	4.10	0.23
C18:0	101.45	98.79	108.73	6.90	0.47
C18:1*cis*-9	59.18	62.31	63.83	4.19	0.72
C18:2*cis*-6	402.24	373.58	426.11	27.06	0.38
C18:3n3	31.76[a]	32.41[a]	29.54[b]	0.48	0.02
总长链脂肪酸 Total long chain fatty acids	638.76	606.18	673.99	16.30	0.14
静脉血浆 Vein plasma					
C16:0	62.18	51.16	54.05	3.15	0.21
C18:0	83.22	77.81	82.03	6.13	0.58
C18:1*cis*-9	46.59	44.91	46.32	2.25	0.62
C18:2*cis*-6	400.54	371.51	423.62	24.06	0.23
C18:3n3	31.34[a]	31.92[a]	29.07[b]	0.47	0.04
总长链脂肪酸 Total long chain fatty acids	607.33	552.60	604.65	31.27	0.23

2.3 不同饲粮模式对血流量及长链脂肪酸的动脉供给量和乳腺摄取率的影响

由表 5 可以看出，不同饲粮模式对奶牛的血流量造成了显著的影响（P＜0.05），呈现出 CS1 组＞MF 组＞CS2 组；虽然动、静脉中各长链脂肪酸的浓度差异不是很大（表 4），但受血流量的影响，所有

长链脂肪酸在动脉的供给量均与血流量有较高一致性，也呈现出 CS1 组＞MF 组＞CS2 组。从整体来看，不同饲粮模式下，CS2 组和 MF 组奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取率均高于 CS1 组，其中对 C18:1*cis*-9 的摄取率有升高趋势（*P*＜0.10）；对 C16:0、C18:3n3 和总长链脂肪酸的摄取率均显著高于 CS1 组（*P*＜0.05），但 CS2 组和 MF 组之间差异不显著（*P*＞0.05）。上述结果表明，CS1 组饲粮虽然提高了对奶牛脂肪酸的供给量，但显著降低了奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取率，CS2 组奶牛虽然乳腺对长链脂肪酸的摄取率较高，但其饲粮中长链脂肪酸的供给量不足。

表 5　奶牛血流量及长链脂肪酸的动脉供给量和乳腺摄取率

Table 5　Mammary blood flow, artery supply and mammary extraction rate of long chain fatty acids for dairy cows

	处理 Treatments				*P* 值
脂肪酸 Fatty acids	CS1	CS2	MF	SEM	*P*-value
血流量 Mammary blood flow /(L/h)	433.87^{a}	277.49^{c}	352.84^{b}	30.34	0.04
动脉供给量 Artery supply/(g/d)					
C16:0	808.83^{a}	452.29^{b}	674.93^{a}	65.45	< 0.01
C18:0	1 028.21^{a}	651.01^{b}	921.64^{a}	84.16	0.02
C18:1*cis*-9	607.90^{a}	422.33^{b}	540.98^{a}	46.75	0.04
C18:2*cis*-6	4 221.75^{a}	2 428.13^{b}	3 608.34^{a}	293.35	0.03
C18:3n3	246.29^{a}	204.83^{c}	223.08^{b}	7.11	0.03
总长链脂肪酸 Total long chain fatty acids	6 605.02^{a}	3 878.91^{b}	5 629.51^{a}	537.39	0.02
乳腺摄取率 Mammary extraction rate/%					
C16:0	17.04^{b}	26.66^{a}	31.11^{a}	3.14	0.03
C18:0	18.08	22.74	23.04	2.97	0.41
C18:1*cis*-9	21.77	29.84	27.06	3.05	0.09
C18:2*cis*-6	0.64	0.83	0.88	0.12	0.32

C18:3n3	1.97[b]	2.26[a]	2.37[a]	0.08	0.04
总长链脂肪酸 Total long chain fatty acids	7.39[b]	10.84[a]	10.99[a]	1.05	0.04

2.4 不同饲粮模式对奶牛乳腺对长链脂肪酸摄取量的影响

由表 6 可以看出，不同饲粮模式下，奶牛乳腺对长链脂肪酸 C16:0、C18:2*cis*-66 和总长链脂肪酸的摄取量均呈现出 MF 组＞CS1 组＞CS2 组，且组间差异显著（*P*＜0.05）；而 CS2 组奶牛乳腺对 C18:0 的摄取量显著低于其余 2 组（*P*＜0.05），但其他 2 组之间差异不显著（*P*＞0.05）；CS1 组和 CS2 组奶牛乳腺对 C18:1*cis*-9 和 C18:3n3 的摄取量显著高于 MF 组（*P*＜0.05），但 CS1 组和 CS2 组之间差异不显著（*P*＞0.05）。上述结果表明，MF 组奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取量要高于 CS1 和 CS2 组，而 CS1 组又高于 CS2 组。

表 6 奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取量

Table 6 Mammary uptake of long chain fatty acids for dairy cows g/d

	处 理 Treatments				*P* 值
脂肪酸 Fatty acids	CS1	CS2	MF	SEM	*P*-value
C16:0	137.84[b]	120.60[c]	210.08[a]	5.17	<0.01
C18:0	185.94[a]	148.04[b]	212.3[a]	5.42	0.01
C18:1*cis*-9	132.36[b]	126.04[b]	146.39[a]	6.50	0.02
C18:2*cis*-6	26.84[b]	20.22[c]	31.62[a]	1.56	0.04
C18:3n3	4.86[b]	4.63[b]	5.29[a]	0.15	0.04
总长链脂肪酸 Total long chain fatty acids	487.87[b]	420.56[c]	618.69[a]	11.32	<0.01

3 讨 论

3.1 不同饲粮模式对奶牛 DMI、产奶量和乳脂的影响

DMI 是影响奶牛生产性能的一个非常重要的指标。Llamas-Lamas 等[7]用 86%、71%和 56%的精料配以青贮饲料饲喂奶牛时发现，86%精料组的奶牛 DMI 最高，而 71%和 56%精料组奶牛的 DMI 无显著

差异。本试验采用了与上述文献类似的饲粮精粗比和饲养条件，饲喂 3 种模式饲粮的奶牛的 DMI 均无显著差异。

饲粮的 DMI、精粗比、粗饲料来源及其结构等，均可影响产奶量。Krause 等[8]试验表明，低质粗饲料饲粮会降低奶牛对饲料的消化率和对营养物质的摄取能力，从而降低产奶量和乳脂产量，但随着饲粮精料浓度的提高，奶牛的产奶量和乳脂产量也会提高。本试验中，奶牛产奶量和日乳脂产量 3 组间差异均显著，且呈现出 MF 组＞CS1 组＞CS2 组，与 Krause 等[8]的研究结果一致。

由以上结果推断：本试验奶牛可能已经达到其本身的最大 DMI，这可能是 DMI 不显著的原因；而奶牛采食低能低氮的以单一玉米秸秆为粗饲料的饲粮（农户散养模式）后体重并没有显著降低，而是以极大降低产奶量来降低其泌乳需要。

乳脂是牛奶重要的营养指标，研究指出：高谷物饲粮可以造成乳脂含量降低，并伴随着乳脂率和产奶量的低下[9]，而提高饲粮中性洗涤纤维的水平，可以显著提高乳脂率[10]，本研究结果与上述研究一致。低纤维且高谷物饲粮可以造成乳脂降低综合征（乳脂率<3.7 g/L[9]），而 CS1 组饲粮有着较高的纤维含量，这可能是它没有导致奶牛出现乳脂降低综合征的原因，但与 3.7 已经接近，存在较高风险。

3.2　不同饲粮模式下奶牛乳腺对长链脂肪酸摄取的影响

血液脂肪酸浓度对奶牛乳腺脂肪酸代谢具有重要影响。研究显示，血液中脂肪酸浓度的变化很大程度上源于饲粮中营养组成的改变，且血液脂肪酸浓度的变化会强烈响应饲粮中相对应的脂肪酸浓度的变化，它们之间有着较为明显的线性关系。并且，尽管受到瘤胃氢化的影响，增加饲粮中某种脂肪酸后，也会线性的增加血液和乳中相应脂肪酸的浓度和比例[11]。本试验结果与上述研究一致，特别是对于本试验中具有显著变化的亚麻酸（C18:3n3）。

血流量是脂肪酸摄取的关键控制因素。研究指出，DMI 对奶牛血流量没有显著影响，但增加饲粮中淀粉和蛋白质的供给量，或在血液中灌注氨基酸，都会使血流量有明显的提升[12]。本研究中血流量呈现出 CS1 组＞MF 组＞CS2 组，这与 CS1 组饲粮较高的淀粉和蛋白质水平有关。脂肪酸的供给量同时受到血液脂肪酸浓度和血流量的影响[13]，不同饲粮模式对奶牛血浆中长链脂肪酸浓度的影响不显著，

而血流量的影响显著，故本研究中长链脂肪酸供给量结果与血流量结果保持一致。

乳腺对脂肪酸摄取率和血液对脂肪酸的供给量共同决定着奶牛乳腺对脂肪酸的摄取量，而摄取率会受到血流量的影响，血流量的增加往往会伴随着乳腺对营养物质摄取率的降低[14]。Zhang 等[15]的研究结果也表明，增加饲粮和血液中脂肪酸的供给量，会降低奶牛对相应脂肪酸的摄取率和转运效率，但在牛奶中会增加这些脂肪酸的浓度和产量。本研究结果显示，有着最高血流量和供给量的 CS1 组奶牛，其乳腺对长链脂肪酸的摄取率虽然显著降低，但对长链脂肪酸的摄取量相对于 CS2 组却显著增加，与上述研究结果一致。也有研究显示，优质粗饲料能够提高脂肪酸转化至乳中的效率，从而提高乳脂含量及产量，并维持较高的乳脂率[16]。本研究中 MF 组奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取率相对于 CS1 组奶牛均有不同程度的提高，从而提高了乳腺对长链脂肪酸的摄取量。而乳腺对 C16:0 的摄取率与上述理论不符，可能是 C16:0 有一半来自乳腺的从头合成。

由此可见，相对于优质粗饲料饲粮，CS1 组饲粮提高了精料浓度，降低了奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取率，从而降低了奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取量；而 CS2 组饲粮营养水平的降低，降低了奶牛血液对长链脂肪酸的供给量，从而降低奶牛乳腺对长链脂肪酸的摄取量。这些现象也有可能出现在乳成分前体物和产奶量及乳成分含量的关系上，需进一步研究，且乳腺对长链脂肪酸摄取率的降低与乳脂率的降低不无关系。

4 结 论

不同饲粮模式影响了奶牛的产奶量、乳脂产量和乳脂率，以及乳腺对长链脂肪酸的摄取。简单的提高低质粗饲料饲粮中精料的浓度会降低乳腺对长链脂肪酸的摄取效率，这不是一种可以有效提高奶牛摄取长链脂肪酸的办法。

致谢：感谢哈斯额尔敦博士给予在本试验过程中的精心指导及师兄、师姐、师弟、师妹们的帮助。

参考文献：

[1] ELGERSMA A,TAMMINGA S,ELLEN G.Modifying milk composition through forage[J].Animal Feed Science and Technology,2006,131(3/4):207–225.

[2] BAUMAN D E,GRIINARI J M.Regulation and nutritional manipulation of milk fat:low-fat milk syndrome[J].Livestock Production Science,2001,70(1/2):15–29.

[3] AOAC.Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists[S].16th ed.Gaithersburg,MD:AOAC，1999.

[4] KHAS-ERDENE Q,WANG J Q,BU D P,et al.Short communication:responses to increasing amounts of free α-linolenic acid infused into the duodenum of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2010,93(4):1677–1684.

[5] BU D P,WANG J Q,DHIMAN T R,et al.Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(2):998–1007.

[6] ANNISON E F,LINZELL J L,FAZAKERLEY S,et al.The oxidation and utilization of palmitate,stearate,oleate and acetate by the mammary gland of the fed goat in relation to their overall metabolism,and the role of plasma phospholipids and neutral lipids in milk-fat synthesis[J].Biochemical Journal,1967,102(3):637–647.

[7] LLAMAS-LAMAS G,COMBS D K.Effect of forage to concentrate ratio and intake level on utilization of early vegetative alfalfa silage by dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1991,74(2):526–536.

[8] KRAUSE K M,COMBS D K,BEAUCHEMIN K A.Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. Ⅰ .Milk production and diet digestibility[J].Journal of Dairy Science,2002,85(8):1936–1946.

[9] BAUMAN D E,GRIINARI J M.Nutritional regulation of milk fat synthesis[J].Nutrition,2003,23:203–227.

[10] ZHU W,FU Y,WANG B,et al.Effects of dietary forage sources on rumen microbial protein synthesis and milk performance in early lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2013,96(3):1727–1734.

[11] CHILLIARD Y,GLASSER F,FERLAY A,et al.Diet,rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat[J].European Journal of Lipid Science and Technology,2007,109(8):828–855.

[12] RIUS A G,APPUHAMY J A D R N,CYRIAC J,et al.Regulation of protein synthesis in mammary glands of lactating dairy cows by starch and amino acids[J].Journal of Dairy Science,2010,93(7):3114–3127.

[13] DAVIS S R,COLLIER R J.Mammary blood flow and regulation of substrate supply for milk synthesis[J].Journal of Dairy Science,1985,68(4):1041–1058.

[14] YANG G,BU D P,WANG J Q,et al.Duodenal infusion of α-linolenic acid affects fatty acid metabolism in the mammary gland of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2012,95(10):5821–5830.

[15] ZHANG R H,MUSTAFA A F,ZHAO X.Blood metabolites and fatty acid composition of milk and cheese from ewes fed oilseeds[J].Canadian Journal of Animal Science,2006,86(4):547–556.

[16] JAHREIS G,RICHTER G H.The effect of feeding rapeseed on the fatty-acid composition of milk lipids and on the concentration of metabolites and hormones in the serum of dairy cows[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,1994,72(1/2/3/4/5):71–79.

Effects of Different Dietary Patterns on Mammary Uptake of Long Chain Fatty Acids for Dairy Cows

LIU Shuaiwang Aochangjin* BAI Chen ZHANG Fuquan KANG Rong

(*College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University*, *Huhhot* 010018, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different dietary patterns on mammary uptake of long chain fatty acids for dairy cows. Thirty healthy Holstein cows with the similar parity, body weight [(554±21)] kg, lactation period [(120±24) d] and milk yield [(24.30±1.47) kg/d] were randomly assigned to 3 groups with ten cows each using a randomized block design. Dairy cows in 3 group were fed different pattern diets: one diet's roughage consisted of alfalfa, *Leymus chinensis* and whole corn silage (MF group), one diet's roughage consisted of only corn straw and containing similar nutrient level with MF group (CS1 group), and the last one diet's roughage consisted of only corn straw and containing equal roughage ratio with MF treatment (CS2 group). The experiment lasted for 90 days with 3 periods, and each period had 30 days. Diet, milk and blood samples were collected and examined at last 2 days of each period. The result showed as follows: 1) different dietary patterns had no significant effects on body weight and dry matter intake (P>0.05), but had significant effects on milk yield, milk fat percent and daily milk fat yield for dairy cows (P<0.05). The milk yield and daily milk fat yield in MF group were significantly higher than those in CS1 and CS2 groups （P＜0.05）, and above indices in CS1 group were significantly higher than those in CS2 group （P＜0.05）; the milk fat percent in MF group was significantly higher than that in CS1 group （P＜0.05）. 2) Different dietary patterns had no significant effects on the concentrations of C16:0, C18:0, C18:2*cis*-6, C18:1*cis*-9 and total long chain fatty acids in artery and vein plasma for dairy cows （P＞0.05）. 3） Different dietary patterns had no significant effect on mammary blood flow （P＜0.05）, and it showed CS1 group＞MF group＞CS2 group. Artery supply of total long chain fatty acids was affected by different dietary patterns, which showed MF and CS1 groups was significantly bigger than CS2 group (5 629.51 and 6 605.02 g/d vs. 3 878.91 g/d) (P<0.05). 4) Mammary extraction rate of total long chain fatty acids was affected by different dietary patterns, which showed MF and CS2 groups was significantly bigger than CS1 group (10.99% and 10.84% vs. 7.39%) (P<0.05). 5) Mammary uptake of total long chain fatty acids was affected by different dietary patterns, which showed MF group (618.69 g/d)>CS1 group (487.87 g/d)>CS2 group （420.56 g/d）, and the difference was significant among groups (P<0.05). This study revealed that in the condition of low quality roughage diets, it is not an effective way to improve the uptake of long chain fatty acids by simply

---

*Corresponding author, professor, E-mail: changjinao@sohu.com （责任编辑 菅景颖）

increasing the proportion of concentration.

Key words: diet; dairy cows; long chain fatty acids; uptake